葡萄糖氧化酶对生长獭兔营养物质利用、盲肠菌群结构及肠道消化酶活性的影响

刘亚娟[1,2]　陈赛娟[1,2]　李　冲[3]　吴峰洋[3]　高利晓[3]　谷子林[2,3*]

（1.河北农业大学山区研究所，保定 071001；2.河北省山区农业工程技术研究中心，保定 071001；3.河北农业大学动物科技学院，保定 071001）

摘　要：本试验旨在研究葡萄糖氧化酶（GOD）对生长獭兔营养物质利用、盲肠菌群结构及肠道消化酶活性的影响。随机分为 5 组，每组设 5 个重复，每个重复 6 只（公母各占 1/2）。对照组饲喂基础饲粮，4 个试验组饲喂在基础饲粮的基础上分别添加 0.1%、0.2%、0.3%和 0.4% GOD 的试验饲粮。预试期 5 d，正试期 30 d。结果表明：1）能量的表观消化率和表观消化能以对照组最低，0.4%组最高；各试验组粗纤维表观消化率较对照组有不同程度提高，其中 0.4%组提高 16.10%，差异显著(P<0.05)。2）0.4%组可消化氮、氮沉积量、氮利用率和氮生物利用率分别较对照组提高 12.39%、17.48%、15.68%和 12.78%，且均差异显著(P<0.05)。3）饲粮中添加 GOD 能够在一定程度上降低盲肠 pH。与对照组相比，0.4%组盲肠乳酸菌和双歧杆菌数量显著提高（P<0.05），大肠杆菌数量显著降低（P<0.05）；0.3%组盲肠双歧杆菌数量显著提高（P<0.05）。4）0.4%组十二指肠部位胰蛋白酶活性显著高于对照组(P<0.05)，空肠部位乳糖酶活性极显著高于对照组(P<0.01)。综合分析认为，饲粮中添加 GOD 能够改善饲粮中营养物质利用和獭兔肠道菌群结构，提高肠道消化酶活性，建议添加量为 0.4%（60 U/kg）。

关键词：葡萄糖氧化酶；营养物质利用；菌群结构；消化酶活性

中图分类号：S816　　　　文献标识码：A　　　　文章编号：

随着消费者对食品安全的日益重视，溯源至养殖环节，健康、可持续发展的畜牧业将是大势所趋。传统养殖模式下，主要依赖抗生素的畜产品生产和疾病防控将被制止。越来越多的学者开始关注更安全、高效的饲料添加剂——饲用酶制剂。葡萄糖氧化酶（GOD）是微生物发酵的天然产物，能够催化 β-*D*-葡萄糖转化成葡萄糖酸和过氧化氢，同时消耗氧气，能够起到类似抗生素、酸化剂和益生菌的作用[1]，经农业部批准可作为饲料添加剂使用。GOD

收稿日期：2016-08-01

基金项目：国家兔产业技术体系（CARS-44-05B）；河北农业大学青年科学基金（QN201302）

作者简介：刘亚娟(1982-)，女，河北保定人，副研究员，硕士生导师，主要从事动物营养与饲料研究。E-mail： lyj8258@126.com

*通信作者：谷子林，教授，博士生导师，E-mail： gzl887@sina.com

在猪、鸡生产中应用的相关报道较多，在家兔方面，主要停留在对断乳仔兔和泌乳母兔增重、采食量等生产性能的初步研究上[2-3]，对獭兔消化道环境和消化性能等的相关研究未见报道。本试验旨在探讨 GOD 对家兔营养物质利用以及肠道 pH、菌群结构和消化酶活性的影响，为 GOD 在獭兔生产中的合理利用提供科学依据，为动物安全、高效生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选择体况良好、体重基本一致的 40 日龄獭兔作为试验动物；试验用 GOD 由保定鲜尔康生物工程有限公司提供，为棕黄色颗粒，活性为 15 U/g。

1.2 试验设计

饲养试验采用单因子设计，选取 40 日龄生长獭兔 150 只，随机分为 5 组，每组设 5 个重复，每个重复 6 只（公母各占 1/2）。对照组饲喂基础饲粮，4 个试验组饲喂在基础饲粮的基础上分别添加 0.1%、0.2%、0.3%和 0.4% GOD 的试验饲粮。试验组饲粮营养水平较对照组略有下降，但差异不显著（$P>0.05$）。饲养试验和实验室分析均在河北农业大学进行，所有试兔统一管理，相同饲养环境。预试期 5 d，正试期 30 d，试兔 75 日龄时结束。基础饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1 基础饲粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis） %

原料 Ingredients	含量 Content
玉米 Corn	10.00
次粉 Wheat middling	8.00
豆粕 Soybean meal	6.00
麸皮 Wheat bran	20.00
花生粕 Peanut mea	8.00
葵花粕 Sunflower meal	8.00
大麦皮 Barley husk	12.00
菊花粉 Chrysanthemum powder	10.00
花生秧 Peanut straws	16.00
食盐 NaCl	0.30
石粉 Limestone	1.00
预混料 Premix[1)]	0.50
赖氨酸 *L*-Lys	0.10
蛋氨酸 *DL*-Met	0.10

合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
消化能 DE/(MJ/kg)	9.52
粗蛋白质 CP	17.21
粗纤维 CF	14.35
钙 Ca	0.93
总磷 TP	0.61
赖氨酸 *L*-Lys	0.86
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.59

1)预混料为每千克饲粮提供The premix provided the following per kg of the diet：VA 13 500 IU，VE 15 mg，VK 1.5 mg，VB_1 1.8 mg，VB_2 6 mg，VB_3 13.5 mg，VB_5 24 mg，VB_6 0.3 mg，VB_{12} 0.024 mg，Cu 10 mg，Fe 60 mg，Zn 70 mg，Mn 16 mg，Se 0.1 mg，生物素 biotin 0.09 mg，叶酸 folic acid 0.3 mg。

2) 氨基酸为计算值，其他为实测值。Amino acids was calculated values, while others were measured values.

1.3 测定指标与方法

1.3.1 饲粮营养物质表观消化率的测定

首先测定饲粮中能量、氮、粗脂肪、各纤维物质以及钙、磷含量。饲养试验结束前7天，每组随机选取10只试兔，采用全收粪法进行消化代谢试验，试验过程中以单只试兔为单位，记录日采食量，收集全部新鲜粪便、尿液。试验结束时将收集的全部粪便充分混匀，65～70 ℃烘干，回潮24 h后称重，采用四分法留样备测粪中能量、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维以及钙、磷含量。粪便平均分为2份，一份用10%盐酸固定挥发性氮，用于测定氮含量，另一份不作处理，用于测定能量、粗脂肪、各纤维物质以及钙、磷含量。尿样每日收集、固氮，试验结束后充分混匀测定含氮量。

饲粮中营养物质的表观消化率（%）＝100×（食入营养物质量－粪便中对应营养物质量）/食入营养物质量；

可消化氮（g/d）=氮摄入量－粪氮排放量；

氮沉积量（g/d）=氮摄入量－粪氮排放量－尿氮排放量；

氮表观消化率（%）=100×可消化氮/氮摄入量；

氮利用率（%）=100×氮沉积量/氮摄入量；

氮生物利用率（%）=100×(氮沉积量/氮吸收量)。

1.3.2　盲肠pH及菌群结构测定

饲养试验结束时，每组随机选择10只试兔，屠宰后迅速测定其盲肠内容物pH，然后取盲肠内容物与灭菌稀释液逐级稀释配制成10^{-5}的稀释液，通过培养测定盲肠内乳酸杆菌、双歧杆菌和大肠杆菌的数量。结果以lg(CFU/g)(每克肠道内容物中含菌落总数的对数)表示。

1.3.3　肠道消化酶活性测定

饲养试验结束时，每组随机选择10只试兔，屠宰后立即取十二指肠、空肠、回肠、盲肠部分食糜，迅速放入离心管中，置入液氮中冷冻。30 min后取出放入-30 ℃冰柜中备测消化酶活性。消化酶活性均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定。

1.4　数据处理

试验数据采用Excel 2010软件进行初步处理，利用SPSS 18.0统计软件的ANOVA程序进行方差分析，差异显著时采用LSD方法进行多重比较，试验结果以平均值±标准差表示。

2　结　果

2.1　GOD 对生长獭兔营养物质利用的影响

由表 2 可知，能量表观消化率以对照组最低（57.59%），试验组提高 1.34%~7.78%，表观消化能的变化趋势与其基本一致，消化能以对照组最低（9.52 MJ/kg），0.4%组最高（10.25 MJ/kg）。

试验组粗纤维表观消化率较对照组提高 0.16~3.98 个百分点，其中 0.4%组与对照组的差异达显著水平（P<0.05）；试验组中性洗涤纤维表观消化率较对照组提高 4.77~7.15 个百分点，各试验组与对照组的差异均达显著水平（P<0.05）；试验组酸性洗涤纤维表观消化率较对照组提高 1.33~4.20 个百分点，其中 0.3%、0.4%组与对照组的差异达显著水平（P<0.05）。可见，饲粮中添加 GOD 能提高饲粮中纤维物质的表观消化率。

各试验组钙、磷的表观消化率较对照组均有不同程度提高，但无明显规律性。各组粗脂肪表观消化率均在 90%左右，组间差异不显著（P>0.05）。

表 2　GOD 对生长獭兔营养物质利用的影响

Table 2　Effects of GOD on nutrient utilization of growing Rex rabbits

项目 Items	对照组 Control group	0.1%组 0.1% group	0.2%组 0.2% group	0.3%组 0.3% group	0.4%组 0.4% group

能量表观消化率 Apparent digestibility of energy/%	57.59±3.88	58.36±2.44	58.87±4.46	62.04±4.02	62.07±1.95
消化能 DE/（MJ/kg）	9.52±0.64	9.77±0.41	9.61±0.73	10.18±0.66	10.25±0.32

粗脂肪表观消化率 Apparent digestibility of EE/%	90.35±2.24	89.72±1.60	91.00±1.52	90.09±1.54	90.15±1.37
粗纤维表观消化率 Apparent digestibility of CF/%	24.71±2.09[b]	24.87±3.33[ab]	27.33±3.46[ab]	27.42±2.53[ab]	28.69±3.18[a]
中性洗涤纤维表观消化率 Apparent digestibility of NDF/%	26.52±2.78[b]	31.29±3.36[a]	31.55±4.26[a]	33.71±2.13[a]	33.67±2.66[a]
酸性洗涤纤维表观消化率 Apparent digestibility of ADF/%	22.91±1.79[b]	24.24±1.46[ab]	24.26±3.36[ab]	26.55±3.82[a]	27.11±2.25[a]
钙表观消化率 Apparent digestibility of Ca/%	45.77±8.46	53.45±7.19	45.26±8.97	47.77±10.70	51.27±7.02
磷表观消化率 Apparent digestibility of P/%	32.06±7.48	33.81±6.93	33.29±9.27	35.55±3.79	36.54±6.93

同行数据肩标相同字母或无字母表示差异不显著(P>0.05)，不同小写字母表示差异显著(P<0.05)，不同大写字母表示差异极显著(P<0.01)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (P<0.01). The same as below.

2.2 GOD 对生长獭兔氮代谢的影响

由表 3 可知，0.4%组可消化氮、氮沉积量分别较对照组提高 12.39%、17.48%，氮利用率和氮生物利用率分别较对照组提高 15.68%和 12.78%，且均达到显著水平（P<0.05）；其他试验组上述指标较对照组也有不同程度提高，但均未达显著水平（P>0.05）。饲粮中添加

GOD 对氮摄入量、粪氮排出量、尿氮排出量和氮表观消化率无显著影响（$P>0.05$）。

表 3　GOD 对生长獭兔氮代谢的影响

Table 3　Effects of GOD on nitrogen metabolism of growing Rex rabbits　%

项目 Items	对照组 Control group	0.1%组 0.1% group	0.2%组 0.2% group	0.3%组 0.3% group	0.4%组 0.4% group
氮摄入量 Nitrogen intake	3.71±0.14	3.73±0.26	3.64±0.39	3.95±0.10	3.88±0.22
粪氮排出量 Fecal N output	1.33±0.15	1.23±0.11	1.26±0.27	1.38±0.31	1.25±0.13
尿氮排出量 Urinary N output	1.01±0.07	0.92±0.16	0.95±0.18	0.94±0.18	0.96±0.15
可消化氮 Digestible N	2.34±0.11[b]	2.50±0.19[ab]	2.38±0.18[b]	2.58±0.25[ab]	2.63±0.24[a]
氮沉积量 N retention	1.43±0.18[b]	1.57±0.27[ab]	1.43±0.05[b]	1.64±0.39[ab]	1.68±0.29[a]
氮表观消化率 N apparent digestibility	65.86±3.98	66.90±1.89	65.64±4.73	65.31±7.42	67.77±3.01
氮利用率 N utilization	38.59±4.56[b]	42.15±4.81[ab]	39.65±4.08[ab]	41.49±10.18[ab]	44.64±5.78[a]
氮生物利用率 N bioavailability	58.46±4.82[b]	63.02±7.23[ab]	60.43±4.99[ab]	62.89±10.41[ab]	65.93±5.98[a]

2.3　GOD 对生长獭兔盲肠 pH、菌群结构的影响

由表 4 可知，盲肠 pH 随 GOD 添加量的升高有下降趋势，但差异不显著（$P>0.05$），表明饲粮中添加 GOD 能够在一定程度上降低獭兔盲肠内的 pH。与对照组相比，0.4%组盲肠乳酸菌和双歧杆菌数量显著提高（$P<0.05$），大肠杆菌数量显著降低（$P<0.05$）；0.3%组盲肠双歧杆菌数量显著提高（$P<0.05$）。上述结果表明饲粮中添加适量 GOD 能够增加盲肠乳酸菌、双歧杆菌数量，减少大肠杆菌数量，从而改善盲肠微生物环境。

表 4　GOD 对生长獭兔盲肠 pH、菌群结构的影响

Table 4　Effects of GOD on cecal pH and microflora structure of growing Rex rabbits

lg(CFU/g)

项目 Items	对照组 Control group	0.1%组 0.1% group	0.2%组 0.2% group	0.3%组 0.3% group	0.4%组 0.4% group
pH	6.69±0.03	6.67±0.02	6.65±0.03	6.61±0.02	6.54±0.03
乳酸杆菌 *Lactobacilli*	7.65±0.18[b]	7.84±0.46[ab]	7.86±0.14[ab]	8.03±0.39[ab]	8.13±0.36[a]
双歧杆菌 *Bifidobacterium*	7.72±0.12[c]	7.87±0.32[bc]	7.91±0.23[bc]	8.21±0.31[ab]	8.60±0.53[a]

大肠杆菌 Escherichia.coli	6.79±0.31[a]	6.67±0.20[a]	6.55±0.27[ab]	6.35±0.12[ab]	6.28±0.18[b]

2.4　GOD 对生长獭兔肠道消化酶活性的影响

由表 5 可知，十二指肠和空肠部位的胰蛋白酶活性随 GOD 添加量的增加表现出增强的趋势，其中十二指肠部位 0.4%组胰蛋白酶活性比对照组高 13.71%，差异显著（*P*<0.05）；各试验组十二指肠和空肠部位的脂肪酶活性均较对照组有所提高，但组间差异均未达显著水平（*P*>0.05）；十二指肠和空肠部位的淀粉酶活性组间差异不显著（*P*>0.05）；十二指肠和空肠部位的乳糖酶活性随 GOD 添加量的增加而增强，且 0.4%组空肠部位乳糖酶活性极显著高于对照组（*P*<0.01），显著高于 0.1%组（*P*<0.05），其余组间差异不显著（*P*>0.05）。回肠和盲肠部位的各消化酶活性组间差异不显著（*P*>0.05）。可见，饲粮中添加适量 GOD 能增强十二指肠的胰蛋白酶活性和空肠的乳糖酶活性。

表 5　GOD 对生长獭兔肠道消化酶活性的影响

Table 5　Effects of GOD on intestinal digestive enzyme activities of growing Rex rabbits

U/mg prot

项目 Items	部位 Parts	对照组 Control group	0.1%组 0.1% group	0.2%组 0.2% group	0.3%组 0.3% group	0.4%组 0.4% group
胰蛋白酶 Trypsin	十二指肠 Duodenum	1.75±0.20[b]	1.83±0.17[ab]	1.89±0.11[ab]	1.92±0.19[ab]	1.99±0.38[a]
	空肠 Jejunum	2.97±0.34	3.06±0.77	3.20±0.67	3.22±0.58	3.49±0.52
	回肠 Ileum	2.39±0.36	2.78±0.19	2.75±0.19	2.78±0.17	2.85±0.63
	盲肠 Caecum	2.01±0.42	2.04±0.35	1.95±0.18	2.11±0.30	2.12±0.19
脂肪酶 Lipase	十二指肠 Duodenum	8.32±1.82	8.51±1.00	9.13±1.99	9.35±1.14	9.48±1.87
	空肠 Jejunum	11.94±1.12	11.95±1.48	12.27±1.58	12.25±1.69	12.53±1.29
	回肠 Ileum	11.41±1.95	11.59±1.80	11.34±1.78	12.09±2.04	11.48±1.12
	盲肠 Caecum	6.11±1.67	5.82±0.53	6.13±1.18	5.70±0.97	5.99±1.52
乳糖酶 Lactase	十二指肠 Duodenum	5.12±0.65	5.65±2.01	5.66±1.41	6.33±3.59	7.62±1.14

	空肠 Jejunum	11.57±1.17^{Bb}	13.30±2.92^{ABb}	13.72±1.80^{ABab}	13.96±3.51^{ABab}	16.46±1.05^{Aa}
	回肠 Ileum	7.42±2.10	7.47±2.45	7.38±2.19	7.79±1.03	7.53±2.16
	盲肠 Caecum	3.80±0.99	3.54±1.10	3.28±1.28	3.77±0.82	3.65±0.62
淀粉酶 Amylase	十二指肠 Duodenum	0.07±0.04	0.07±0.02	0.08±0.04	0.10±0.08	0.10±0.01
	空肠 Jejunum	0.12±0.04	0.12±0.03	0.12±0.04	0.11±0.01	0.17±0.13
	回肠 Ileum	0.13±0.07	0.15±0.03	0.13±0.05	0.13±0.05	0.16±0.03
	盲肠 Caecum	0.031±0.005	0.029±0.008	0.038±0.008	0.033±0.007	0.027±0.006

3　讨　论

3.1　GOD 对生长獭兔营养物质利用的影响

獭兔饲料转化利用与其肠道消化酶活性和有益菌数量密切相关，较高的消化酶活性和具有竞争优势的有益菌有助于维持健康的肠道环境，从而促进营养物质的消化吸收。杨久仙等[4]研究指出，饲粮中添加 GOD 能提高断奶仔猪的平均增重和饲料转化率，显著提高干物质、能量、粗蛋白质和钙的表观消化率。安文亭等[5]研究指出，饲粮中添加 30 U/kg 的 GOD，仔猪能量、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维消化率分别提高 6.07%、6.79%、3.61%和 15.16%，与对照组均差异显著。庞家满等[6]报道，在黄羽肉鸡饲粮中添加 380g/t 的 GOD 能够显著提高粗蛋白质、粗脂肪、总有机物质和干物质的消化率。赵国先等[7]报道，在蛋鸡饲粮中添加 0.2％、0.3％和 0.4％的 GOD，粗蛋白质表观消化率极显著提高，钙、磷的表观消化率显著提高。由本试验结果可知，饲粮中添加 GOD 能提高獭兔饲粮中纤维物质的表观消化率。

3.2　GOD 对生长獭兔盲肠 pH 及菌群结构的影响

盲肠 pH 及菌群结构（有益菌数量、有益菌和有害菌比例）是衡量家兔消化机能健康与否的重要指标，也是影响家兔腹泻和营养物质的消化利用的重要因素。GOD 能够催化肠道中的葡萄糖生成葡萄糖酸和过氧化氢，并消耗大量的氧气，再通过 3 个方面影响肠道环境：第一，葡萄糖酸不仅能够降低肠道 pH，为微生物增殖提供酸性环境，还能够促进肠道食糜发酵生成短链脂肪酸——丁酸，为有益菌增殖和大肠上皮细胞生长提供能量[8]；第二，过氧化氢浓度不断增加，会直接抑制大肠杆菌的增殖；第三，肠道内氧气消耗殆尽，厌氧环境有

利于乳酸杆菌和双歧杆菌的增殖，而抑制大肠杆菌、沙门氏菌等好氧有害菌的增殖，从而改善肠道环境[9]。Biagi 等[10]证实，体外发酵葡萄糖酸能够显著降低盲肠液中的氨浓度，显著提高总脂肪酸、乙酸、丙酸、丁酸等的浓度；饲养试验则能够提高仔猪日增重，增加空肠总短链脂肪酸浓度，改善仔猪肠道环境。杨久仙等[11]报道，饲粮中添加 GOD 后断奶仔猪胃内食糜 pH 极显著降低，十二指肠食糜 pH 显著降低。赵国先等[7]指出，蛋鸡饲粮中添加 0.2％～0.4％的 GOD 可显著提高盲肠内容物中乳酸杆菌数量，降低大肠杆菌数量。赵艳姣等[12]报道，小鼠饲粮中添加 0.3%的 GOD 能够有效缓解饲喂霉变饲料引起的大肠杆菌数量增加的状况，添加 0.3%的 GOD 对提高乳酸菌数量的效果较好，且有时间效应。李焰[13]研究表明，GOD 对蛋种鸡由大肠杆菌等引起的肠道腹泻有明显的预防作用。本试验中，GOD 能够降低獭兔盲肠的 pH，增加乳酸菌和双歧杆菌数量，抑制大肠杆菌数量，与前人研究结果一致。

3.3　GOD 对生长獭兔肠道消化酶活性的影响

家兔肠道内营养物质的利用主要依赖消化酶的消化作用。消化酶通过催化食糜的消化分解，为机体提供生长发育所需的营养物质。家兔本身能够分泌淀粉酶、蛋白酶、脂肪酶等内源消化酶，但幼兔消化机能尚未发育健全，消化酶分泌量不足。胰蛋白酶是蛋白酶的一种，能将摄入的蛋白质水解成小分子肽和氨基酸；乳糖酶可将动物体内的乳糖分解成葡萄糖和半乳糖，葡萄糖是动物体代谢的能量来源；淀粉酶主要消化碳水化合物；脂肪酶控制着动物体内脂肪的吸收，转化、重建和脂蛋白代谢等过程。宋海彬等[14]报道，饲粮中添加 GOD 可显著提高肉鸡小肠淀粉酶、胰淀粉酶的活性，脂肪酶活性也有所提高，但没有达到显著水平。本试验中，饲粮中添加适量 GOD 后十二指肠部位的胰蛋白酶活性和空肠部位的乳糖酶活性显著提高，对其他部位的消化酶活性也有不同程度影响。分析认为消化酶的本质是生物体内催化各种生化反应的一类特殊蛋白质，在不同的 pH 中解离状态不同，酶蛋白只有处于适宜的环境中才能与底物结合，充分发挥其催化作用。GOD 进入肠道后，分解为葡萄糖酸，降低了肠道 pH，形成了有利于消化酶活性的弱酸性环境。

4　结　论

饲粮中添加适量的 GOD 能够提高饲料中纤维物质的表观消化率，影响氮代谢，降低生长獭兔盲肠内的 pH，增加盲肠乳酸菌和双歧杆菌数量，抑制盲肠大肠杆菌数量，增强十二指肠内的胰蛋白酶活性和空肠内的乳糖酶活性，建议添加量为 0.4%（60 U/kg）。

参考文献：

[1] CHOCT M.Enzymes for the feed industry:past,present and future[J].World Poultry Science Journal,2006,62(1):5–16.

[2] 吴艳芳,吕景智,戴小丹,等.葡萄糖氧化酶对断奶仔兔生产性能和免疫器官发育的影响[J].中国饲料,2012(14):35–36,39.

[3] 刘亚娟,李江涛,董兵,等.葡萄糖氧化酶对泌乳母兔生产性能及体况恢复的影响[J].饲料工业,2016,37(7):58–60.

[4] 杨久仙,张荣飞,张金柱,等.葡萄糖氧化酶对断奶仔猪生产性能和营养物质消化率的影响[J].当代畜牧,2011(20):32–33.

[5] 安文亭,刘树栋,孙展英,等.葡萄糖氧化酶对仔猪生长性能、健康、饲料养分利用率及相关理化指标的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2014(10):77–79.

[6] 庞家满,王江,李杰,等.葡萄糖氧化酶对黄羽肉鸡生产性能和养分代谢的影响[J].中国畜牧兽医,2013,40(2):72–75.

[7] ZHAO G X,ZHANG X Y,ZUO X L,et al.Regulation of glucose oxidase on digestibility of main nutrients and cecum microorganism of laying hens[J].Chinese Journal of Animal Nutrition, 2008,20(6):679-685.

[8] TSUKAHARA T,KOYAMA H,OKADA M,et al.Stimulation of butyrate production by gluconic acid in batch culture of pig cecal digesta and identification of butyrate-producing bacteria[J].The Journal of Nutrition,2002,132(8):2229–2234.

[9] BANKAR S B,BULE M V,SINGHAL R S,et al.Glucose oxidase-An overview[J].Biotechnology Advances,2009,27(4):489–501.

[10] BIAGI G,PIVA A,MOSCHINI M,et al.Effect of gluconic acid on piglet growth performance,intestinal microflora,and intestnal wall morphology[J].Journal of Animal Science,2006,84(2):370–378.

[11] 杨久仙,张荣飞,马秋刚,等.葡萄糖氧化酶对断奶仔猪生长性能及肠道健康的影响[J].中国畜牧兽医,2011,38(6):18–21.

[12] 赵艳姣,崔亚利,陈宝江,等.葡萄糖氧化酶对饲喂含霉变饲料小鼠体重和肠道微生物的影响[J].动物营养学报,2014,26(11):3531–3536.

[13] 李焰.鲜尔康在肉鸡饲养中替代抗生素的效果试验[J].中国牧业通讯,2005(10):70–71.

[14] 宋海彬,赵国先,刘彦慈,等.葡萄糖氧化酶对肉鸡肠道形态结构和消化酶活性的影响[J].中国畜牧杂志,2010,46(23):56–59.

Effects of Glucose Oxidase on Nutrient Utilization, Cecal Microflora Structure and Intestinal Digestive Enzyme Activities of Growing Rex Rabbits

LIU Yajuan[1,2] CHEN Saijuan[1,2] LI Chong[3] WU Fengyang[3] GAO Lixiao[3] GU Zilin[3]

(1. *Mountain Area Research Institute*, *Agricultural University of Hebei*, *Baoding* 071001, *China*; 2. *Hebei Province Mountain Agricultural Engineering Technology Research Center*, *Baoding* 071001, *China*; 3. *College of Animal Science and Technology*, *Agricultural University of Hebei*, *Baoding* 071001, *China*)

Abstract: This paper was aimed to study the effects of glucose oxidase (GOD) on nutrient utilization, cecal microflora structure and intestinal digestive enzyme activities of growing Rex rabbits. A total of 150 weaned Rex rabbits with the age of 40 days were randomly assigned to 5 groups with 5 replicates per group and 6 rabbits per replicate (half male and half female). The rabbits in control group were fed a basal diet, while the others in 5 experimental groups were fed the basal diet supplemented with 0.1%, 0.2%, 0.3% and 0.4% GOD, respectively. The trial lasted for 5 days for adaptation and 30 days for test. The results showed as follows: 1) the apparent digestibility of energy and apparent digestible energy reached to the minimum in control group, while 0.4% was the highest. Compared with the control group, crude fibre apparent digestibility of experimental groups were elevated more or less, and 0.4% group was significantly increased by 16.10% (P<0.05). 2) Compared with the control group, the digestible nitrogen, nitrogen retention, nitrogen utilization and N bioavailability of 0.4% group were significantly increased by 12.39%, 17.48%, 15.68% and 12.78%, respectively (P<0.05). 3) GOD addition could decrease the pH in caecum to a certain degree. Compared with the control group, the amounts of *Lactobacilli* and *Bifidobacterium* in caecum of 0.4% group were significantly increased (P<0.05), while the amount of *Escherichia coli* was significantly reduced (P<0.05); moreover, the amount of *Bifidobacterium* in caecum of 0.3% group was significantly increased (P<0.05). 4) Compared with the control group, the trypsin activity in duodenum of 0.4% group was significantly increased (P<0.05), and the lactase activity in jejunum was significantly increased (P <0.01). By synthesize analyse, diets with GOD can improve the intestinal microflora structure, improve digestive enzyme activities and nutrient utilization of Rex rabbits. Addition of 0.4% (60 U/kg) GOD is recommended.

Key words: glucose oxidase; nutrient utilization; microflora structure; digestive enzyme activities

*Corresponding author, professor, E-mail： gzl887@sina.com (责任编辑 菅景颖)